

1202,74 кг.

Для фильтра 2-й ступени с высотой загрузки 1,3 м (фильтр №2) и объемом 9,2 м<sup>3</sup> необходимо взять на регенерацию 2320 кг соли. В случае 23% раствора соли на регенерацию пошло 2300 кг соли. Выход соли составил в соответствии с экспериментальными данными 2276,52 кг.

Расхождение количеств хлоридов, подаваемых на фильтры и отводимых из них, в процессе регенерации и отмывки Na-катионитовых фильтров составляет на 1-й ступени 2,2%, на 2-й ступени – 1,02%. Следовательно, количество хлоридов практически не изменяется. Это позволяет использовать умягченную воду в замкнутом цикле регенерации натрий-катионитовых фильтров.

Таким образом, выполненные исследования позволяют разработать технологию обработки сточных вод от промывки (регенерации) Na-катионитовых фильтров, которая заключается в их обработке содовом известковым методом с последующим возвратом на цели регенерации. Это позволит создать замкнутый оборотный цикл промывной воды Na-катионитовых фильтров с экономией поваренной соли и существенно сократить количество регенерационных сточных вод.

1.Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. – 2-е вид., зі змінами. – К.: Либідь, 1995. – 368 с.

2.Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

3.Тепловые и атомные электрические станции / Л.С.Стерман, В.М.Лавыгин, С.Г.Тишин. – 2-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 2000. – 408 с.

4.Водоподготовка / Б.Н.Фрог, А.П.Левченко; Под ред. Г.И.Николадзе. – М.: МГУСА, 1996. – 678 с.

5.Айрапетян Т.С. Осложнения в эксплуатации систем оборотного водоснабжения предприятий теплоэнергетики // Программа и тез. докл. XXXIII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. Ч.1. Строительство, архитектура и экология. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – С.189-190.

*Получено 25.09.2006*

УДК 628.157

Л.В.КРАМАРЕНКО, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПРЕАММОНИЗАЦИИ НА КОЧЕТОКСКОМ ВОДОПРОВОДЕ г. ХАРЬКОВА**

Рассматриваются вопросы улучшения качества воды после применения хлорирования и снижения количества образовавшихся хлорпроизводных при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в мире из-за низкого качества питьевой воды умирает около 5 млн. человек. Инфекционная заболеваемость населения, связанная с водоснабжением, достигает 500 млн. случаев в год.

Наиболее универсальным методом обеззараживания принято считать применение хлора. Однако этот метод имеет ряд недостатков. При контакте с человеком активный хлор может оказывать токсическое, местное раздражающее и аллергенное действие. В случае его утечки способен поражать не только обслуживающий персонал, но и население прилегающих к водопроводным очистным сооружениям территорий. Но основной недостаток хлорирования заключается в том, что в результате взаимодействия с активным хлором многие вещества, находящиеся в воде, образуют продукты более опасные, чем исходные соединения.

Процессы, происходящие при хлорировании воды, содержащей вещества природного происхождения, исследованы достаточно хорошо. Еще в начале 70-х годов прошлого столетия в литературе появились сообщения о возможности образования галогенсодержащих соединений (ГСС) при хлорировании воды. В 1974г. J.J.Rook первым предположил, что наличие ГСС в питьевой воде связано с присутствием природных органических соединений – гуминовых и фульвокислот [1]. Хлороформ и другие ГСС были обнаружены при хлорировании водного экстракта торфа, что подтвердило выдвинутую гипотезу. Было установлено, что содержание в воде ГСС в значительной степени зависит от дозы хлора, использованной при обеззараживании природной воды, и его контакта с водой.

В последнее время появились данные о том, что многие вещества промышленного происхождения, содержащиеся в воде, также могут трансформироваться под действием активного хлора. Продукты хлорирования таких веществ обладают мутагенной и канцерогенной активностью, но насколько широк спектр соединений, способных давать опасные хлорпроизводные в результате хлорирования, пока изучено недостаточно.

В процессе хлорирования воды могут образовываться сотни галогенсодержащих соединений (ГСС), качественный и количественный состав которых зависит от исходного содержания в воде веществ – предшественников ГСС. Предшественниками являются: гуминовые кислоты, фульвокислоты, танины, хиноны, дубильная, карбоксильная, лимонная и аминокислоты, Д-глюкоза, производные фенола, анилина, углеводороды, поверхностно-активные вещества, реже встречаются красители, спирты, эфиры, альдегиды, кетоны, экстрацеллюлярные

продукты жизнедеятельности водорослей, в том числе сине-зеленых, и т.д. Известно, что дополнительными источниками предшественников ГСС могут служить производственные сточные воды, содержащие лигнины, смоляные и жирные кислоты. Эта проблема далека до полного решения, и, хотя уже начинают появляться новые данные о предшественниках ГСС промышленного происхождения, пока нет исчерпывающего перечня антропогенных загрязнений, способных трансформироваться в ГСС при хлорировании.

Установлено, что образование веществ с мутагенными свойствами связано со средней молекулярной массой 3300-7900 (калибровка по декстрину). Показано, что основные источники мутагенов прямого действия – растворимые органические вещества с молекулярной массой  $>2000$ . Количество возникающих мутагенактивных ингредиентов связано как с концентрацией гумусовых фракций в воде, так и дозой хлорирующего агента. Мутагенная активность воды коррелирует с содержанием в ней ГК и ФК и зависит от времени года: ниже летом, несколько выше весной и заметно выше осенью.

Повышение температуры стимулирует реакцию хлорирования последних с увеличением количества как летучих, так и нелетучих хлорорганических соединений.

Регулировать интенсивность реакции хлорирования органических веществ в воде корректировкой pH невозможно.

В отношении хлороформа сформировалось однозначное представление о том, что вероятность его образования является функцией размера молекул: она возрастает с увеличением молекулярной массы ГК и ФК. Данные убеждают в предрасположенности практически всех фракций ФК к реакциям взаимодействия с хлором, приводящим к росту хлороформа. Это обстоятельство вызывает обоснованную тревогу, так как ни на одной из станций водоочистки не удавалось изолировать органические вещества с молекулярной массой  $< 500$ , которые также обладают высоким потенциалом образования ТГМ.

При хлорировании воды из водоёмов Украины (Днепр, Десна, Кременчугское водохранилище, Рось) в летний период может образоваться более 300-400 мкг/дм<sup>3</sup> хлороформа. При этом удельное образование хлороформа составляет от 30 до 70 мкг, а на каждый миллиграмм поглощенного связанного хлора – от 7 до 20 мкг [2, 3].

По данным ИКХХВ НАН Украины концентрация только хлороформа в питьевой воде, отобранной из водоразборных кранов в квартирах г.Харькова, в 2-3 раза превышала допустимую для источников водоснабжения согласно нормам ГСанПиН.

В качестве технических решений, предотвращающих образование

опасных веществ при хлорировании воды, можно предложить преаммонизацию воды. Этот метод разрешён Минздравом Украины и тес-тировался на Кочетокском водопроводе. Вода р. Северский Донец отличается невысокой цветностью и мутностью, повышенной жёсткостью (до 7-8 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и щёлочностью (6,0 – 6,2 мг-экв/дм<sup>3</sup>). В лабораторных исследованиях применяли дозы хлора 1-7 мг/дм<sup>3</sup>, дозы аммиака – 0,2-1,5 мг/дм<sup>3</sup>.

В случае хлорирования, проводимого в практике работы очистных водопроводных сооружений, остаточный активный хлор, определяемый в фильтрате, не всегда соответствовал требованиям ГОСТ 2874-82, т.е. практически всегда необходимо вторичное хлорирование. По данным ПУВХ «Донец» в теплый период года после вторичного хлорирования фильтрата вода, приходящая на НС «Лосево», не соответствует по показателю остаточный хлор требованиям нормативов, поэтому проводят третье хлорирование воды на указанной насосной станции.

В результате повышенного хлоропоглощения, особенно в теплый период года, требуется повышенный расход хлора (суммарно 8-10 мг/дм<sup>3</sup>). После неоднократного хлорирования воды возрастает концентрация хлороформа.

Таблица 1 – Результаты определения концентрации хлороформа в воде, очищенной на водопроводе ПУВХ «Донец»

Точка отбора воды	Концентрация $CHCl_3$ , мкг/дм <sup>3</sup>
Блок очистных сооружений №1 (выход со станции)	26,5
Блок очистных сооружений №2 (выход со станции)	42,5
Блок очистных сооружений №3 (выход со станции)	28,5
НС «Рогань»	31,0
НС «Лосево» после дохлорирования	38,5
Кран в г.Харькове	25,0

Для экономии хлорреактанта, стабилизации и пролонгированного действия остаточного хлора, предотвращения образования высоких концентраций хлороформа исследовали возможность и целесообразность применения аммиачного реактанта с последующим хлорированием на очистных сооружениях Кочетокского водопровода.

Первоначально в лабораторных экспериментах определяли оптимальную дозу хлора для обработки исходной воды р. Северский Донец. Для поддержания остаточного активного хлора в течение времени водоочистки на 3,0-3,5 ч необходимая доза хлора 3,0-3,5 мг/дм<sup>3</sup>; для

стабилизации остаточного хлора в питьевой воде в течение 15 ч требуется доза хлора в два раза выше – 6,0-6,3 мг/дм<sup>3</sup> (табл.2, рис.1).

Таблица 2 – Лабораторный эксперимент. Определение оптимальной дозы хлора при проведении преаммонизации исходной воды Кочетокского водопровода

Доза, мг/дм <sup>3</sup>		Остаточный связанный хлор, мг/дм <sup>3</sup> через...время контакта с водой			Показатели качества обработанной воды	
аммиака	хлора	5 мин.	3 ч	18 ч	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>
0,3	1,0	0,82	0,72	0,62	8,16	0,40
0,3	2,0	1,032	0,89	0,86	8,09	0,10
0,3	3,0	1,24	0,89	0,0	8,00	0,12
0,3	4,0	1,31	0,28	0,0	7,94	0,44
0,3	5,0	1,82	0,56	0,0	7,96	0,10
0,3	6,0	2,0	1,24	0,28	7,89	0,07
0,5	1,0	0,89	0,89	0,76	8,12	0,50
0,5	2,0	1,44	1,44	1,38	8,10	0,23
0,5	3,0	2,17	1,79	1,38	8,01	0,15
0,5	4,0	1,72	1,10	1,07	7,96	0,15
0,5	5,0	1,38	0,52	0,0	7,95	0,20
0,5	6,0	1,38	0,34	0,0	7,90	0,23
0,75	1,0	0,83	0,83	0,83	8,16	0,60
0,75	2,0	1,72	1,44	1,38	8,11	0,40
0,75	3,0	2,0	2,0	1,58	8,07	0,12
0,75	4,0	2,24	2,20	1,72	8,04	0,30
0,75	5,0	2,50	2,34	2,17	7,98	0,07
0,75	6,0	1,88	0,69	0,0	7,92	0,20
0,0	5,0	2,55	1,24	0,21	8,02	0,03
0,0	6,0	3,30	2,06	0,34	7,94	0,02
Исходная вода					8,04	0,20

В следующем лабораторном эксперименте определяли оптимальную дозу хлора для воды р. Северский Донец, в которую предварительно вводили различные дозы (0,3?0,5 мг/дм<sup>3</sup>) аммиака (рис.2, 3). Как видно из рис.2, а, при дозе аммиака 0,3 мг/дм<sup>3</sup> оптимальная доза хлора – 1,5-1,8 мг/дм<sup>3</sup> для поддержания остаточного хлора в рамках стандарта в течение трех часов.

Оптимальными дозами аммиака для дозы хлора 2,5 мг/дм<sup>3</sup> на 3-24 часа контакта будут 0,25-0,4 мг/дм<sup>3</sup>. Повышение дозы как аммиака, так и хлора выше оптимальных (экспериментально найденных) значений не рационально.

Применив 0,5 мг/дм<sup>3</sup> аммиака и вводя такую же дозу хлора, можно поддерживать остаточный хлор в нормативных пределах в течение 15 ч (рис. 3, б) без дополнительного хлорирования.

В случае хлорирования воды (без аммиака) – рис.1 – наблюдается прямая зависимость остаточного хлора от дозы хлора. С ростом дозы

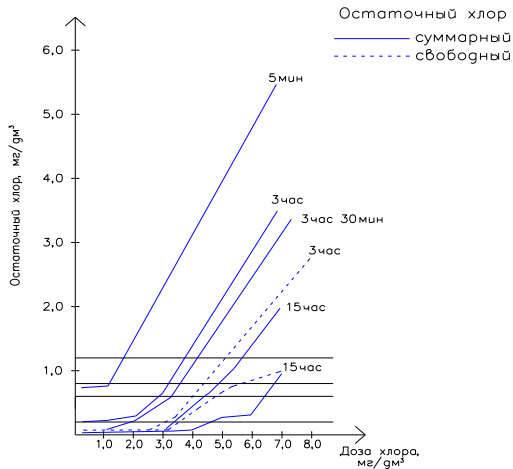


Рис.1 – Графики зависимости остаточного хлора от дозы хлора в динамике – оптимальная доза хлора (лабораторные исследования, р.Северский Донец, температура воды +1 °С)

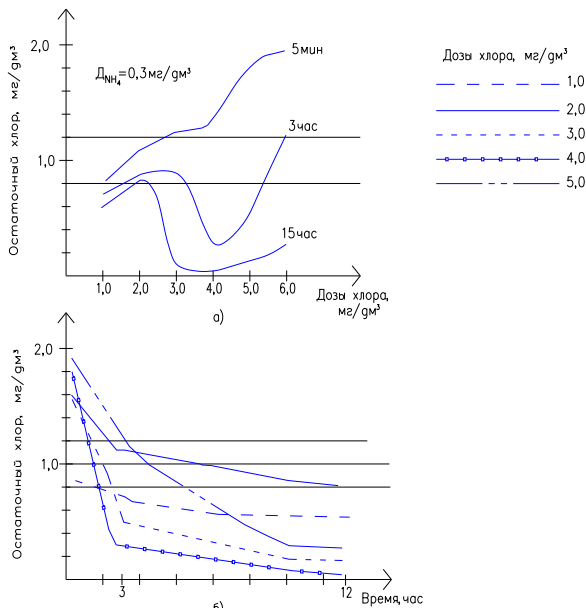


Рис.2 – Кривые зависимости остаточного хлора от дозы аммиака и хлора в динамике (преаммонизация дозой 0,3 мг/дм³, лабораторные исследования, р.Северский Донец, температура воды +1 °С), ПУВХ «Донец», 2 блок

хлора пропорционально возрастает остаточный активный (свободный и связанный) хлор. С применением аммиака перед хлорированием указанная зависимость представляет собой переломную кривую, подъем, максимум и скат. Высота подъема зависит от дозы аммиака и времени экспозиции. При достижении максимума наблюдается снижение остаточного хлора и скат кривой хлоропоглощения. То есть с увеличением дозы хлора в начале кривой наблюдается повышение остаточного хлора до определенной точки (концентрации) максимума, затем при увеличении дозы хлора остаточный хлор снижается (скат кривой). Оптимальную дозу хлора при применении аммиака следует определять на подъеме кривой в диапазоне, когда остаточный хлор соответствует требованиям норматива.

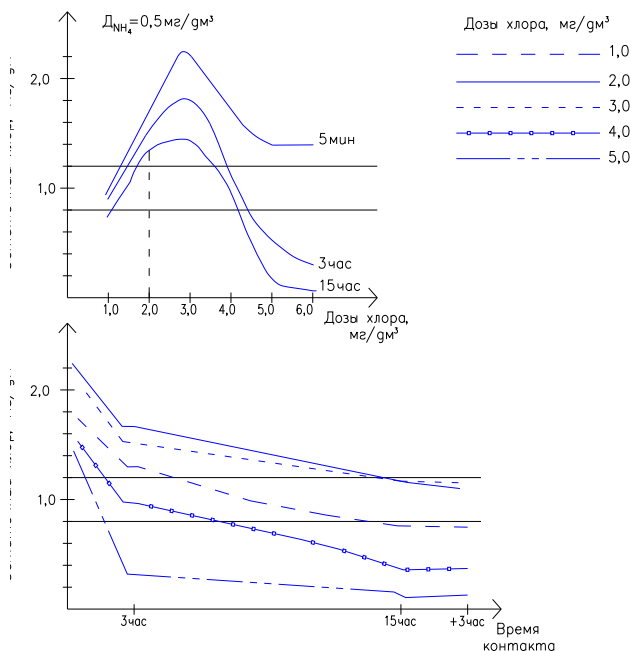


Рис.3 – Кривые зависимости остаточного хлора от дозы аммиака и хлора в динамике (преаммонизация дозой 0,5 мг/дм³, лабораторные исследования, р.Северский Донец, температура воды +1 °С), ПУВХ «Донец», 2 блок

В лабораторных экспериментах смоделированы возможные точки ввода аммиака, хлора и временные интервалы (табл.3). Как видно, ос-

таточный хлор в обработанной воде сохраняется до 15-18 ч в пределах нормы независимо от времени контакта и «разрыва» ввода реагентов.

Таблица 3 – Показатели качества обработанной воды и остаточного связанного хлора при различном интервале ввода реагентов. Моделирование процесса.

Доза, мг/дм <sup>3</sup>		Остаточный связанный хлор, мг/дм <sup>3</sup> через...время контакта с водой				Показатели качества обработанной воды		Очередность, интервал ввода реагентов
аммиака	хлора	5 мин.	3 ч	2,5 ч	12 ч	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	
0,5	2,5	1,38	1,38	1,38	1,17	8,0	0,08	первый ввод аммиака, через 2-5 с - хлор
0,5	2,5	1,38	1,38	1,38	1,12	7,97	0,09	
0,5	2,5	1,38	1,38	1,38	1,20	8,0	0,08	
0,5	2,5	1,45	1,45	1,38	1,24	7,99	0,09	первый ввод аммиака, через 30 с - хлор
0,5	2,5	1,51	1,51	1,51	1,51	7,96	0,13	
0,5	2,5	1,58	1,38	1,38	1,38	7,96	0,13	
0,5	2,5	1,93	1,93	1,65	1,56	7,96	0,23	первый ввод аммиака, через 90 с - хлор
0,5	2,5	1,65	1,65	1,56	1,38	7,96	0,13	
0,5	2,5	1,95	1,93	1,65	1,38	7,96	0,25	
Исходная вода	3,0	0,93	0,27	0,017	0,0	7,92	0,13	хлорирование

Вводя аммиачный реагент для обработки исходной воды, определили оптимальную дозу 0,5 мг/дм<sup>3</sup> и оптимальная доза хлора 1,8-2,0 мг/дм<sup>3</sup> с пролонгированием остаточного хлора до 15-18 ч (рис.3). Доза аммиака 0,3 мг/дм<sup>3</sup> не совсем эффективна для применения.

Однако при максимально приближенном вводе аммиака и хлора (интервал 5-10 с) несколько повышена хлоропоглощаемость на первом этапе по сравнению с «растянутым» вводом.

Повышение дозы аммиака для обработки исходной воды перед хлорированием до 1,5 мг/дм<sup>3</sup> оказывает обратный эффект: повышается хлоропоглощаемость, через 12-15 часов весь остаточный хлор расходуется на окисление аммиачных соединений. Оптимальная доза хлора при дозе аммиака 1,5 мг/дм<sup>3</sup> повышается до 3-4 мг/дм<sup>3</sup>.

Ввод аммиачного реагента не оказывает влияния на показатель мутности. Но при повышенных дозах аммиака 1,0-1,5 мг/дм<sup>3</sup> отмечается опалесценция воды, что приводит к повышенным значениям мутности и цветности обрабатываемой воды, т.е. применять высокие дозы аммиака не рационально независимо от интервала ввода реагентов.

Таким образом, в результате лабораторных исследований было определено, что применение аммиачного реагента перед хлором в оптимальных соотношениях на 50-60% снижает оптимальную дозу хлора (по сравнению с только хлорированной) за счет уменьшения хлоропоглощаемости воды.

В летний период минимальные дозы аммиака (0,2-0,3 мг/дм<sup>3</sup>) бо-



лее эффективны, что следует учитывать при проведении опытно-промышленных испытаний метода преаммонизации в теплый период года на сооружениях Кочетокского водопровода.

1.Слипченко А.В., Кульский Л.А., Мацкевич Е.С. Современное состояние методов окисления примесей воды и перспективы хлорирования // Химия и технология воды. – 1990. – Т.12, №4. – С.326-349.

2.Линник П.Н. Причины ухудшения качества воды в Киевском и Каневском водохранилищах // Химия и технология воды. – 2003. – Т.25, №4. – С. 384-403.

3.Jan J., Tratnik Mojca. Polychlorinated biphenyls in Residets dround the River Krupa, Slovenia, Yugoslavia // Bull. Environ. Coutam. And Toxicol. – 1988. – №6. – Р. 809-814.

*Получено 30.10.2006*

УДК 628.33

А.Н.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук

*ГКП «Харьвовкоммуночиствод»*

Г.И.БЛАГОДАРНАЯ, канд. техн. наук, Т.А.ШЕВЧЕНКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Рассматриваются биологический, физико-химический, электрохимический и химический методы удаления биогенных элементов в очищенной сточной воде.

В неочищенных городских сточных водах содержится в среднем 15-60 мг/л азота, 8-10% которого удаляется при механической и 35-50% при биологической очистке. В биологически очищенных сточных водах содержится до 15-30 мг/л азота преимущественно в виде солей аммония, а также нитритов и нитратов.

Поступление азота в водоемы, особенно вместе с другими биогенными элементами, приводит к эвтрофикации водоемов. Кроме этого, высокие концентрации азота в воде водоемов, особенно в форме нитритов и нитратов, могут вредно влиять на человека, животных, рыб и другие организмы. Поэтому содержание соединений азота в очищенных сточных водах жестко нормируется [1].

Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота.

Для денитрифицирующих бактерий характерной особенностью является возможность использовать источники энергии или в присутствии кислорода или без него с восстановлением нитратов и образова-